

VR 装饰样板间实时渲染优化技术研究

孔国红

浙江省装饰有限公司, 浙江杭州, 31000;

摘要: 随着虚拟现实 (Virtual Reality, VR) 技术在建筑装饰设计领域的广泛应用, VR 装饰样板间成为家装企业与客户之间沟通的新媒介。为了实现沉浸感与真实感并存的用户体验, 实时渲染性能成为影响 VR 样板间展示效果的关键因素。本文从 VR 样板间的视觉需求出发, 系统分析实时渲染的技术瓶颈与优化路径, 围绕图形管线优化、资源调度机制改进与 AI 辅助渲染等维度进行深入研究, 提出一套可行的渲染优化技术体系。研究表明, 通过融合 LOD 动态控制、基于视角的剔除算法、实时光照贴图更新及神经网络图像增强等技术, 能显著提高帧率、降低延迟并改善画面质量, 满足家装场景中高还原、高互动、高性能的 VR 展示需求。

关键词: 虚拟现实; 样板间; 实时渲染; 图形管线优化; 资源调度; AI 增强

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 02. 033

引言

VR 装饰样板间是现代数字家装行业中推动个性化、交互化、沉浸化体验的重要成果。本文立足于家装场景特性与技术实际需求, 从图形渲染架构的角度出发, 探索适配 VR 家装场景的实时渲染优化策略, 分析多项关键技术如资源管理、细节控制、光影处理与人工智能增强方法的实现逻辑, 结合应用案例提出系统性优化路径, 以期为行业提供可借鉴的技术实践模式。

1 图形渲染流程的适配优化策略

1.1 基于 VR 场景结构的图形管线定制化重构

VR 装饰样板间的空间组织以及表现逻辑, 和传统实时渲染游戏环境相比, 存在着十分显著的差异。它的主要特点体现为空间布局较为规整, 元素重复程度颇高, 而且用户的视线路径也相对固定不变。所以, 在对渲染流程进行优化的时候, 应当着重把关注点聚焦在静态数据的预处理方面, 同时也要重视资源复用策略。当构建图形渲染管线之时, 要摒弃掉传统游戏里那种全动态的流程模式, 转而去设计专门面向装饰展示的定制化渲染框架。通过在模型导入的这个阶段实施静态网格合并的操作, 能够极大幅度地降低 GPU 对物体实例进行调用的频率, 进而有效避免渲染负载出现重复的情况。对于材质层而言, 采用统一 ID 划分的方式, 并且运用冗余剔除技术, 针对同质化材质展开自动合并的操作, 同时实现色值归一化, 以此来提升批处理的效率。

在光照处理这一方面, 引入光照预计算以及烘焙贴图的方法, 把复杂的全局光照计算提前在运行之前

就完成好, 并且将其绑定在场景结构之中, 这样就可以有效地规避实时 GI 运算所需要耗费的巨大算力, 这种方式尤其适合家装类那种相对来说比较稳定、不会轻易发生变化的场景结构。除此之外, 在管线执行的过程当中, 引入异步资源加载模块以及前向渲染通道选择机制, 当用户进入到新的房间, 或者视角发生剧烈变动的时候, 能够提前加载所需要的内容, 与此同时, 还能保持帧率输出的连贯性以及用户交互响应的一致性, 从而保证在场景运行的整个过程当中, 画面不会出现卡顿的现象, 响应不会出现延迟的情况, 交互也不会出现滞后的问题。

1.2 几何精度与实时渲染帧率的动态平衡机制

在 VR 装饰体验方面, 用户对于材质细节以及物体形状的真实性有着颇高的要求。曲面家居、装饰线条、灯具折射等区域, 对边缘平滑状况还有几何细节的捕捉能力, 会直接对沉浸感以及信任感产生影响。不过呢, 高几何精度常常就意味着面片数会成倍地增长, 渲染计算量也会随之大增, 这对系统帧率的影响可是相当严重的, 在资源相对紧张的移动 VR 平台上, 这个问题就显得更为突出了。

构建一个以“用户当前视角为主导”的动态几何优化系统。要在 GPU 这个层面启用视角可见性估算的算法以及实时 LOD 管理算法, 依据用户注视点和焦点之间的距离, 来动态地调整模型的细分等级。在焦点所在的区域呢, 要保持高细节的模型, 而在边缘区域以及远离焦点的区域, 那就可以采用低多边形模型或者代理模型 (Proxy Geometry) 来进行替代, 如此一来, 就能在不牺牲画质的前提之下, 把 GPU 的处理负担给减轻。与此同时, 对于样板间里那些重复出现的

元素,像是吊灯、地砖、栏杆、植物等等,要采用 GPU Instancing 这种批量渲染的机制,用一个数据源去驱动多个渲染实例,这样就能极大程度地降低 CPU 和 GPU 之间数据传输所产生的开销,还有 Draw Call 的数量。整个这套机制能够实现几何精度和性能之间的动态平衡,保障关键区域细节的表现能力,同时还能让全局帧率保持稳定的输出状态。

1.3 基于材质属性的渲染优先级队列调度

在 VR 装饰样板间里面,玻璃隔断、镜面衣柜、金属台面以及透明窗帘等诸多高反射还有半透明材质频繁出现,这给渲染系统带来了颇为严峻的挑战。此类材质在处理的时候得结合像深度缓冲、多重采样以及反射/折射计算等这些复杂操作才行,要是没有合理的调度机制,那是很容易出现深度冲突、遮挡错误的情况,并且性能也会骤然下降。所以,去构建一个依据材质属性来确定渲染优先级的系统就成了优化的关键所在。

在具体实施的时候,可以在 Shader 预处理阶段给各个对象附上透明度、反射率、粗糙度等这些物理参数标签,系统依照材质的复杂程度来构建分层渲染队列,在进行渲染操作的时候按照优先级顺序来分批提交。比如说,可以先对不透明材质以及静态光照对象进行渲染,接着再去处理半透明区域以及反射物体,最后再来渲染动态反光以及全景镜像。对于深度排序的问题,还能够把 Z-PrePass 深度预写入技术和 GPU 多通道遮挡推测缓存机制结合起来,在渲染透明材质的时候可以自动识别出遮挡层级,以此来避免出现重复绘制以及错误显示的情况。通过引入这样的调度机制,不但让系统对复杂材质的适应能力得到了提升,而且还明显减少了渲染延迟,使得画面整体的一致性以及沉浸感都得到了增强。

2 资源调度机制的高效改进路径

2.1 空间分区与异步加载系统的协同设计

VR 样板间一般是由诸多独立空间组合而成的,像客厅、厨房、卧室、书房等等这些空间都在其中。每个空间它自身的模型、贴图以及光照数据虽然是相互独立的状态,但彼此之间又是连通着的。所以,在进行渲染设计的时候,不能把它当作一个整体一次性就去加载。要是采用传统的全场景加载这种方式呀,它不但会给 GPU 还有内存资源带去特别大的压力,而且还会让系统启动变得特别迟缓,在切换视角的时候卡顿现象也是格外明显的。

基于这样的情况,引入空间逻辑分区和异步加载

协同起来发挥作用的机制就变成了一种必然的选择。在场景构建的这个阶段呢,系统会把整个样板间划分成好几个所谓的“room chunk”,把每一个房间都当作是一个加载单元,并且给它们设置好边界触发区域。当使用者靠近房间的边缘地带,或者马上就要切换房间的时候,触发器就会发出预加载的信号,后台的线程这时候就会启动数据调度的工作,把相应的模型、贴图以及光照缓存都加载到显存当中去,而不是非得等到使用者完全进入之后才去加载,如此一来就能达成那种“过渡无缝”的沉浸体验。GPU 缓冲池管理系统,会依据视角移动的轨迹来实时地分析所谓的“热区”,然后自动地释放那些远离视野的资源,好让内存的占用能够保持在一个合理的范围之内,防止出现内存泄露以及显存溢出的这些问题。这种机制在提高加载效率的同时,对于系统在动态交互方面的容错性以及可拓展性也起到了很显著的增强作用呢。

2.2 材质贴图优化与纹理压缩技术集成

在装饰样板间场景之中,普遍存有诸多高分辨率的贴图,其作用在于呈现木纹、织物、石材以及玻璃等各类材质。尤其是在近景加以观察以及进行动态交互的时候,对于纹理细节所要求的还原度是相当高的。要是那些大体积的纹理数据未曾经过有效的压缩以及合理的调度安排,那么便会快速地消耗掉 GPU 的带宽,进而引发渲染方面出现瓶颈状况。在优化策略方面,首先可以运用 Mipmap 机制来构建多级的纹理链,依据用户和物体之间的距离情况,动态地去选取合适解析度的贴图,以此来降低远景部分的资源占用情况。

与此同时,引入像 BC7 或者 ASTC 这类高效的压缩算法,在最大程度对贴图数据进行压缩的基础上,还能够保持材质原本具有的表现力,这种方式尤其在表现那些对比度比较高、细节十分密集的表面时是很适用的。再者,采用图块化加载策略(也就是 Tiled Texture Streaming),把大尺寸的贴图切割成为多个小图块(即 tile),按照实际需求去加载在可视区域内的 tile 数据,而并非是整体去加载整张贴图,这样能够有效地提升读取的速率以及和渲染的同步性。该机制对于墙面艺术画、地毯细节、橱柜贴面等这些有着高复杂度纹理的表现来说是特别适用的,能够确保在近距离观看的时候依然具备真实的触感,并且让远景区域的资源得以有效地释放出来,从整体上提升系统在材质表现方面的效率以及画面的渲染速度。

2.3 基于用户行为模型的资源预测预加载机制

在实际运用 VR 样板间之际, 用户移动视角并非是随意为之的, 而是会在一系列能够被预测出来的路径当中展开浏览活动。比如说, 用户进了门之后往往会先查看客厅的布局情况, 接着便会将目光转向餐厅, 随后还会对厨房进行仔细查看等等。像这样的行为模式, 是可以凭借长时间对交互数据所做的采集以及分析工作来构建出相应的用户行为预测模型的。该模型会以用户过往的行动轨迹、注视点的分布状况、交互热点的密度等方面的信息作为依据, 同时与 LSTM 序列学习算法或者贝叶斯预测方法相互结合起来, 进而生成有关下一步视角区域以及交互行为的概率预测成果。如此一来, 系统便能够依据这些预测结果, 提前对高概率区域的模型以及纹理资源进行加载操作, 达成那种“视角还没转到, 相关内容就已经准备好”的动态调度效果。

要是再结合热力图可视化工具的话, 还能够对场景构建以及资源配置布局加以优化处理, 防止在冷区出现资源投入过多而造成冗余的情况。除此之外, 在后台调度算法当中引入关于 GPU 硬件状态的监测逻辑也是很有必要的, 像是对 GPU 的温度、电压、负载占比等方面的情况进行监测, 然后依据预测结果来动态地对加载的节奏以及顺序做出调整, 以此来让系统性能与资源的使用寿命达到一种平衡的状态。最终, 通过这样的机制, 就能够实现对资源的主动调配以及对运行策略的智能化选择, 进而在整体上提升用户体验过程当中的流畅程度以及视觉方面的稳定性。

3 AI 辅助的图形增强与智能渲染路径

3.1 基于深度学习的图像超分与细节增强技术

为了让高粘度渲染任务中的视觉效果在清晰度以及精细度方面有所提升, 应用深度神经网络来对图像做超分辨率(Super-Resolution)方面的增强处理, 这已然变成了一种趋势。把像 ESRGAN、Real-ESRGAN 这类模型加以集成, 在渲染后的画面输出之前, 对其展开 AI 增强方面的处理, 以此达成边缘得以细化、纹理能够锐化以及噪点被抑制的效果。与此同时, 还能够在漫反射表面以及织物材质之上运用 AI 增强法线图生成器, 使得凹凸感以及光线反射方面的表现得以增强, 进而在像素输出有限的情形下, 达成接近 4 K 质感的那种真实呈现效果。

3.2 实时光照 AI 推理与环境光感自适应调节

传统光照计算里的全局光照、阴影映射以及漫反射计算, 这些对 GPU 性能的消耗是颇为巨大的。在 VR 装饰样板间当中引入 AI 光照预测模型的话, 能够

依据已经训练好的深度图还有环境参数, 较为迅速地生成光照映射效果, 并不需要逐帧去进行计算。再结合神经渲染技术(Neural Rendering), 在对光照模型加以渲染的时候, 可以动态地去调整亮度、色温以及反射强度, 能自动和房间类型以及时间模拟条件相匹配, 进而实现像“昼夜切换”“场景氛围调整”这类功能的智能控制, 以此来提升系统的适应性以及沉浸感。

3.3 虚拟人物与交互动画的智能驱动机制

在增强样板间互动性之际, 智能虚拟人物导览以及用户行为反馈动画等已然成为提升用户沉浸体验的关键构成部分。借助姿态识别以及运动预测神经网络(就像 OpenPose 和 Transformer 组合模型那样), 能够达成虚拟导购自然动作的驱动, 实现语音表情的联动, 并且完成与用户视线互动的匹配。在涉及交互物件之时, 可通过神经行为树(即 Neural Behavior Tree)来构建智能响应逻辑, 从而让灯光、窗帘、家电这类虚拟对象拥有“感知、判断、响应”的智能行为, 进而打造出全方位的智能场景响应体系。

4 结语

VR 装饰样板间的实时渲染优化不仅是一项图形学挑战, 更是支撑数字家装商业落地的核心技术引擎。本文通过构建图形管线重构、资源调度系统升级与 AI 辅助渲染三维技术体系, 从底层架构到上层交互进行了系统性研究。研究表明, 优化后的渲染系统在保证画质提升的同时, 能有效降低延迟、节约硬件资源并增强互动体验, 为未来 VR 家装平台的普及提供了坚实的技术基础。展望未来, 随着算力边缘化、算法智能化与内容生产标准化的发展, VR 样板间将向“云渲染+AI 设计+个性定制”一体化方向演进, 成为智能家居产业数字化升级的重要支撑平台。

参考文献

- [1] 迪建. 虚拟现实 VR 产品及其产业链探究[J]. 集成电路应用. 2016, (3). 16-20.
- [2] 沈旭霞, 贾欣欣, 满强, 等. 基于 Unity3d 的防喷演习系统的设计与实现[J]. 自动化技术与应用. 2016, (7).
- [3] 李骏. NYT VR: 虚拟现实新闻报道的始作俑者[J]. 传媒评论. 2016, (4). 26-28.
- [4] 杨迎春, 廉东本, 陈月. 基于 Unity3D 的仓储可视化编辑器[J]. 计算机系统应用. 2016, (8).
- [5] 严晓峰. 虚拟现实技术在网络博物馆中的应用与实现[J]. 电脑知识与技术. 2015, (26).